Mais ce discours ne convainc pas tout le monde. Certains jugent en effet la nouvelle donne plutôt inconfortable. Changer jusqu'à la philosophie de conception des sondes spatiales est une chose, mais vivre en permanence avec le spectre du licenciement en est une autre. En 1992, le JPL employait 6 000 personnes, auxquelles s'ajoutaient 1 800 postes contractuels. Des effectifs que Ed Stone doit réduire pour faire tomber leur nombre aux alentours de 4 800 d'ici à l'an 2000. *"Le mécontentement gronde*, affirme un ingénieur. *Beaucoup d'anciens, soit qu'ils ne s'adaptaient pas à la nouvelle mentalité de l'entreprise, soit qu'ils ont décidé de prendre leur retraite anticipée, s'en vont. En outre, un certain nombre d'ingénieurs se sentent surchargés de travail. Accablés par la pression à chaque nouvelle tâche qu'on leur demande parfois de mener à bien dans des délais surhumains."*

La sonde Cassini, ici lors d'ultimes tests au JPL, avant son départ pour cap Canaveral. Les ingénieurs de Pasadena ne feront plus avant longtemps de tels mastodontes.

"Tout dépend à qui l'on s'adresse, tempère Norman Haynes, responsable du département Exploration martienne au JPL. *À les entendre, la majorité de ceux qui ont travaillé sur les missions Mars Pathfinder et Global Surveyor ont vécu un grand moment ! Mais pour d'autres, typiquement ceux de l'ère des gros vaisseaux sophistiqués, l'aventure est peut-être un peu intimidante. Car il faut à présent qu'ils changent complètement leur manière de faire."* Et accessoirement qu'ils prouvent qu'ils ont toujours leur place au sein du JPL... *"Ceux qui ont travaillé sur Galileo ou Cassini tentent à présent de trouver un nouveau projet sur lequel se greffer et le moment est assurément très difficile*, confie Donna Shirley, ingénieur de développement au département Exploration martienne. *Certains les regardent droit dans les yeux et leur disent :* 'Si seulement je pouvais trouver quelqu'un qui a déjà l'expérience des petites missions ! Que vais-je faire ?'"

Dans l'ensemble pourtant — managers et employés s'accordent sur ce point —, la mission Mars Pathfinder a eu un impact très positif. Parce qu'elle a validé la nouvelle devise du "vite fait bien fait". Et parce que, au sein du personnel, elle a balayé les doutes quant à l'avenir : le JPL demeurera à coup sûr le centre d'exploration interplanétaire des prochaines années. *"Il y a eu comme un épanouissement des esprits*, confirme un ingénieur. *Une fois qu'ils ont reconnu — et accepté — que les grosses missions de type Cassini n'avaient plus leur place dans un futur proche, les gens ont pris conscience que cela signifiait beaucoup en termes de missions à venir. Des missions plus courtes, certes, mais bien plus nombreuses."*

Déjà, pourtant, ce vent d'optimisme ne semble plus suffire pour attirer — ou retenir — de jeunes et talentueux ingénieurs. *"Nous ne sommes plus les seuls à les faire rêver*, confirme Donna Shirley. *Beaucoup de nos concepteurs graphiques nous quittent pour le cinéma ou les télécommunications, où s'ouvrent des perspectives excitantes. Dans d'autres secteurs aussi, nous avons du mal à garder les meilleurs, qui reçoivent de l'extérieur des propositions bien plus alléchantes que les nôtres."* Pourtant, ajoute-t-elle prestement, *"les découvertes que l'on peut faire ici n'ont pas d'équivalent ailleurs. Elles repoussent sans cesse les frontières ! Voilà ce qui fait la magie du JPL depuis son origine : cette possibilité de poursuivre la quête des limites."*

Le JPL est aujourd'hui géré par l'Institut technologique de Californie, le célèbre Caltech à Pasadena, pour le compte de la Nasa[1]. Mais son histoire commence dans les années 30, avec un certain Théodore von Karman, professeur au Caltech, lorsque celui-ci entreprend de tester des petits moteurs-fusées sur le site d'Arroyo Seco, un canyon asséché au nord de Los Angeles. Un peu plus tard, von Karman persuade l'armée de l'air américaine de financer le développement de lanceurs à réaction, qui seront abondamment utilisés durant la Seconde Guerre mondiale. C'est durant cette guerre que l'armée lui demande de plancher sur les V2 allemandes et que l'équipe du Caltech, dans la proposition détaillant les objectifs de son futur programme de recherche, prend pour la première fois le nom de Laboratoire de propulsion par réaction — soit Jet Propulsion Laboratory.

Suivent d'intensives campagnes d'étude et de tests de fusées dans les années 50. En 1958, les ingénieurs du JPL signent, avec le lancement du satellite Explorer 1, le premier succès spatial américain. Cette même année, a lieu une double passation de pouvoir : l'armée de l'air abandonne le contrôle du laboratoire aux civils, et en l'occurrence à la toute nouvelle agence spatiale américaine, la Nasa. Le JPL se taille vite une réputation internationale, à grands coups de vaisseaux interplanétaires et de sondes lancés à l'assaut de Vénus, de Mars, ou de la Lune dans le cadre du programme Apollo. *"Il y avait une telle effervescence*, se souvient Norman Haynes. *De fait, ce que nous vivons aujourd'hui rappelle par beaucoup d'aspects ce que nous avons vécu dans les années 60. À l'époque, nous débutions juste, et nous expérimentions déjà sans le savoir le 'plus petit, plus rapide et moins cher'. Tout boucler, du démarrage du projet au lancement, en deux, trois ans n'avait rien d'extraordinaire."* D'autant que les missions, essentiellement à destination de Vénus et de Mars, étaient parfaitement rodées. *"Et nous avons lancé tellement de sondes !* poursuit-il. *Plus de vingt durant ces années 60, je crois. Alors que ce chiffre est tombé à deux ou trois seulement au cours des années 80. Pour les anciens, aujourd'hui, c'est un peu comme au bon vieux temps..."*

"Vous comprenez pourquoi les ingénieurs les plus cotés aujourd'hui au JPL sont soit ceux qui sont arrivés depuis moins de cinq ans, soit ceux qui étaient déjà là il y a plus de vingt-cinq ans", lance en souriant John Casani, ingénieur en chef et ancien patron de la mission Galileo. *"Nous, les anciens, savons que relever le défi est possible*, renchérit Donna Shirley. *Parce que nous l'avons déjà fait. Alors que la jeune génération doute encore... Et que les gens entre deux âges, qui n'ont travaillé que sur les grosses missions, se sentent très mal à l'aise."*

"Dans les années 60, boucler une mission en trois ans n'avait rien d'extraordinaire"

Pur produit du JPL, Mariner 2, lancée le 27 août 1962 à destination de Vénus, sera

SPECIALE
NEGLI ABISSI DEL MAR GLACIALE ARTICO

€ 4,10

GENNAIO 2004

NATIONAL GEOGRAPHIC ITALIA

MARTE

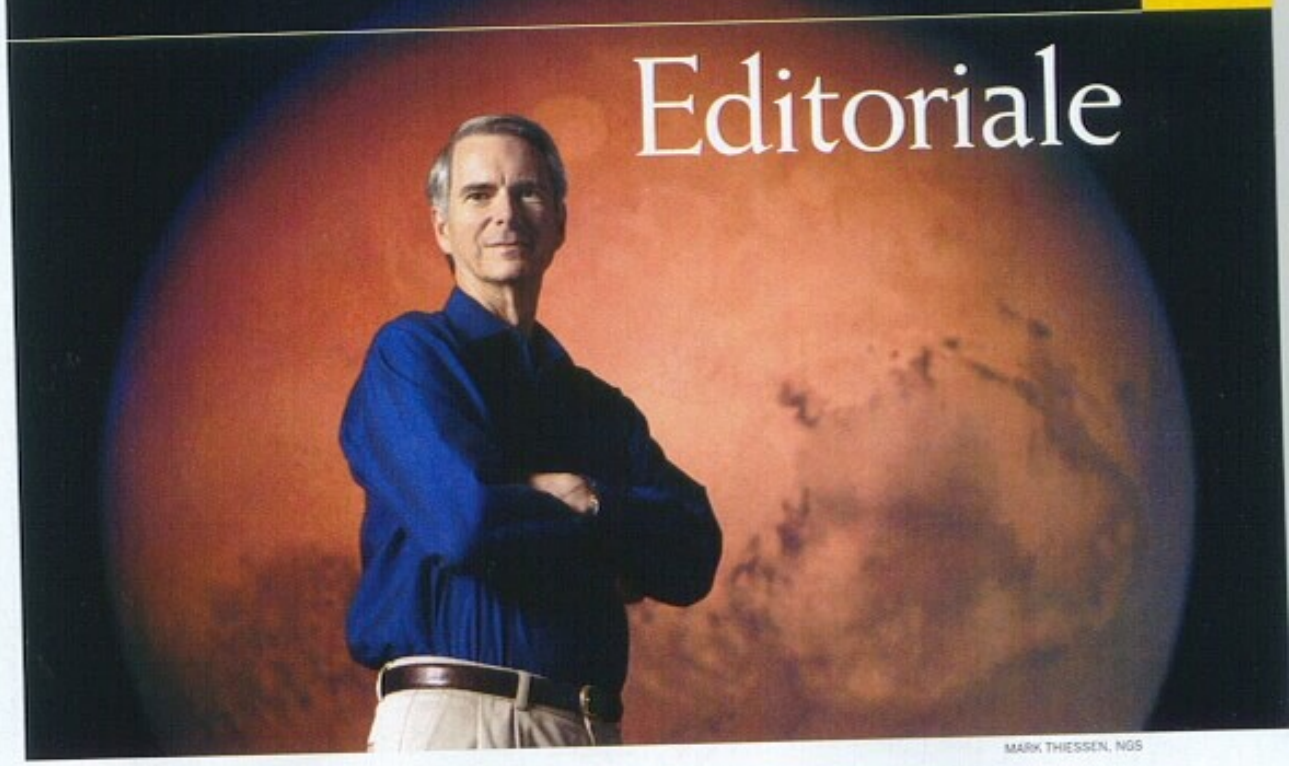
C'è vita tra i ghiacci del pianeta rosso?

Nella valle proibita dei monaci del Ladakh
Disco di Nebra, l'astronomia nell'Età del bronzo
Patagonia, ultima frontiera
Namibia, la forza e la bellezza delle donne Himba

NATIONAL GEOGRAPHIC IN ITALIANO - GENNAIO 2004 - VOL. 13 N. 1 • SPED. IN ABB. POST. 45% ART. 2 COMMA 20/B LEGGE 662/96 - FILIALE DI MILANO

NATIONAL GEOGRAPHIC GENNAIO 2004 MARTE • HIMBA, NAMIBIA • PATAG DISCO DI NEBRA • MONACI DEL LADAKH • MISSIONE ARTIDE

Editoriale



MARK THIESSEN, NGS

Una passeggiata fra le dune di Marte?

Ho sempre pensato che non vi fosse luogo più arido e ostile. E di luoghi aridi, io che vengo dal Texas, ne so qualcosa. Nulla però era paragonabile al pianeta rosso descritto nei romanzi di fantascienza. Naturalmente, l'idea che Marte fosse una minaccia incombente non nasceva solo dai libri: nel 1938, con l'adattamento radiofonico de *La Guerra dei Mondi*, Orson Welles convinse un buon numero di americani che i marziani stavano attaccando il New Jersey. Cosa aspettarsi, del resto, da un pianeta chiamato come il dio romano della guerra, e che, osservato a occhio nudo, sembra tinto di sangue?

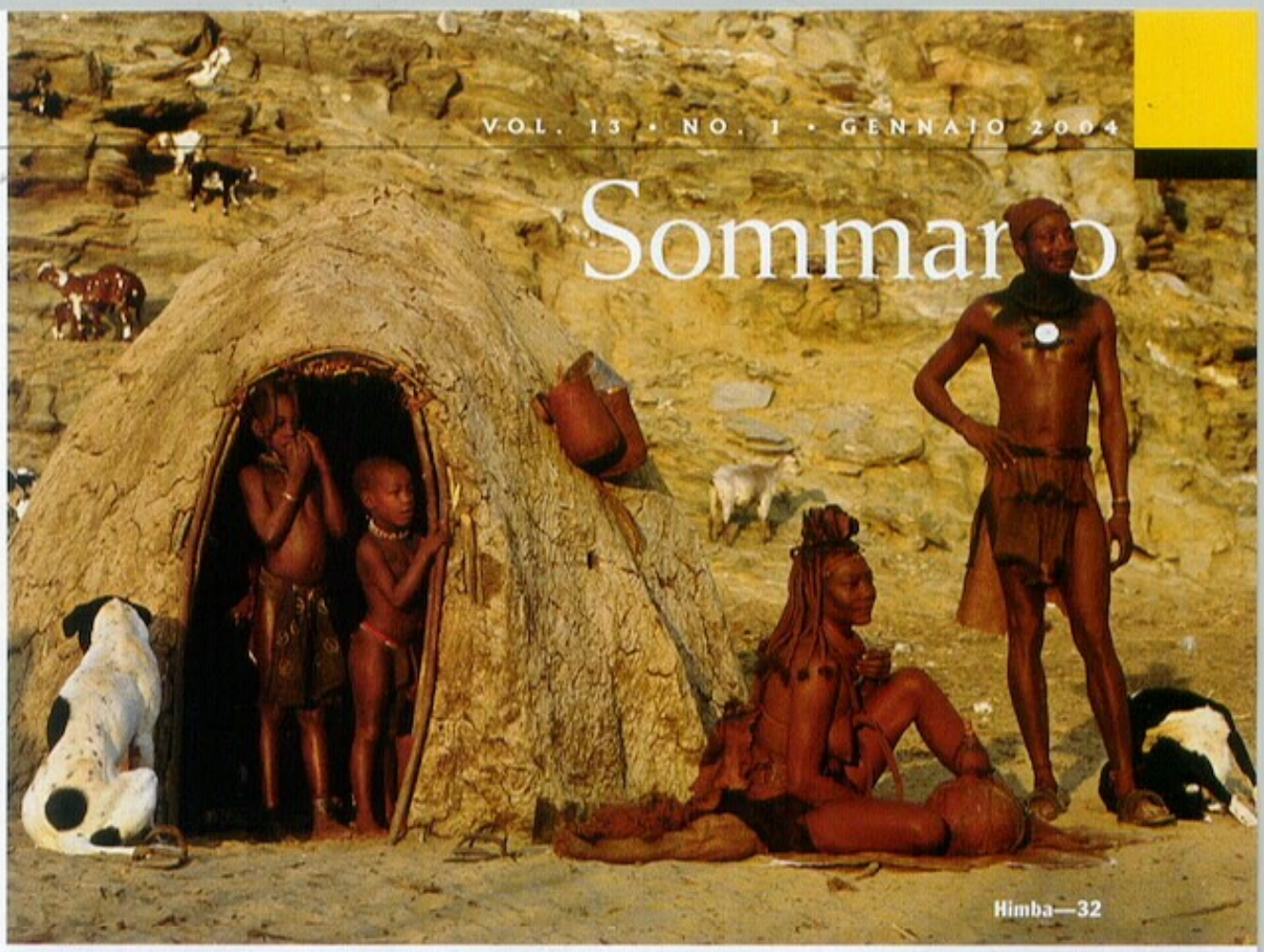
Sapevo che quel genere di narrativa e di film era solo un innocuo intrattenimento, molto più "fanta" che "scienza". La sorpresa è stata scoprire che gli scrittori di fantascienza non erano i soli a sbagliarsi su Marte. Per decenni, gli scienziati sono stati convinti che la superficie del pianeta fosse morta e immutabile. Invece, come vedrete leggendo l'articolo a pagina 2, completo di nuove immagini e nuovi dati trasmessi dalle due sonde orbitanti, su Marte si scatenano tempeste, valanghe di polvere, e forse vi sono banchi di neve e ghiacciai.

Mi auguro che quando leggerete queste righe, i tre moduli di atterraggio abbiano iniziato a trasmettere nuovi dati da Marte. Nel frattempo, suggerisco ai fan del pianeta rosso di visitare alcuni luoghi sulla Terra incredibilmente simili a Marte; li troverete elencati nella nuova rubrica "Fate il vostro gioco". È il modo più sicuro, al momento, per sentirsi marziani senza passeggiare fra quelle dune lontane.

Bill Allen

VOL. 13 • NO. 1 • GENNAIO 2004

Sommario



Himba—32

I REPORTAGE

2 **Marte, pianeta vivo** C'è acqua su Marte? Esistono le condizioni per la sopravvivenza di qualche forma di vita? Da anni, gli scienziati di tutto il mondo si pongono le stesse domande. Oggi, con l'arrivo di ben tre moduli per l'esplorazione della superficie e grazie alle immagini sempre più dettagliate trasmesse dalle sonde orbitanti, potrebbero finalmente arrivare le risposte. Per ora, ci accontentiamo di conoscere i dettagli delle scoperte più recenti, che ci raccontano un pianeta inaspettato, più dinamico, e vivo, di quanto prevedessero gli esperti.
DI OLIVER MORTON

32 **Himba** Scampati a guerre e siccità, gli Himba - poche decine di migliaia di pastori sparsi tra la Namibia e l'Angola - devono oggi fronteggiare l'irruzione della modernità. L'autogestione delle terre e l'arrivo dei turisti hanno portato una relativa sicurezza economica, ma anche stravolto un modo di vivere antico di secoli. A soffrirne sono soprattutto le donne, che si rifugiano nei costumi e nei riti tradizionali.
DI KAREN E. LANGE FOTOGRAFIE DI CAROL BECKWITH E ANGELA FISHER

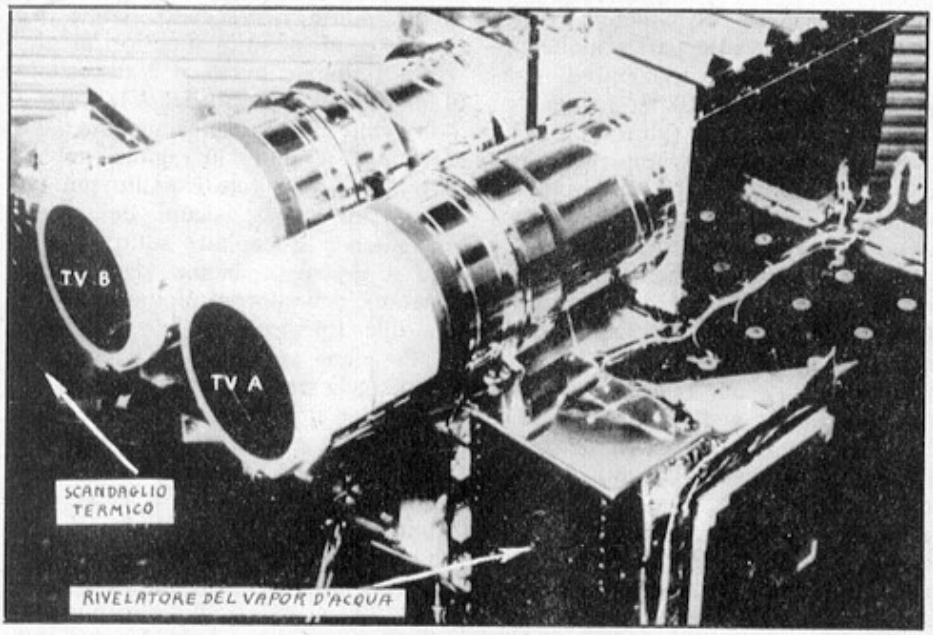
50 **Patagonia** Sferzata da venti implacabili, l'immensa regione che si protende tra Cile e Argentina rappresenta forse l'ultima frontiera per tutti coloro che hanno un sogno da coltivare e la tenacia per realizzarlo. E così, accanto agli allevamenti di pecore, i vecchi ranch vengono trasformati in esclusivi resort per ecoturisti e miliardari.
DI SIMON WORRALL FOTOGRAFIE DI PETER ESSICK

LE RUBRICHE

Editoriale
Forum
Bella scoperta
Geographica
Sette per uno
Fate il vostro gioco
Dietro le quinte
DVD *Beyond the movie: Il Signore degli Anelli, Il Ritorno del Re*
National Geographic TV
nationalgeographic.com

LA COPERTINA

Ecco come appariva Marte tra i 50 e i 500 mila anni fa: un "pianeta bianco", coperto di neve e ghiaccio; l'immagine è stata ottenuta elaborando i dati dell'altimetro laser del modulo orbitante *Mars Global Surveyor.*
ILLUSTRAZIONE DI KEES VEENENBOS



Telecamere installate a bordo dell'ORBITER ed alcuni apparati per il rilevamento termico e del vapor d'acqua.

dal gemello: in particolare, le esperienze pirolitiche hanno dimostrato che la vigorosa reazione dell'ossigeno andava ridimensionata per 1/5 e che, parimenti, la quantità di CO_2 era stata erroneamente valutata superiore del 30%. Tuttavia, anche se nessuna traccia di composti organici è stata rintracciata nel deserto di *Utopia* in quantità superiore ad una parte su 100 milioni (limite della sensibilità degli apparecchi biologici), il coordinatore dello staff di analisti, Gentry Lee, ha dichiarato che le prove di non evidenza non sono ancora conclusive e che un'impressionante mole di informazioni deve essere ulteriormente vagliata.

Lander in letargo: Orbiter vigili

I LANDER sono equipaggiati, come si è detto, con due generatori al plutonio, oltre che con batterie solari, i quali garantiscono un minimo di 90 giorni d'autonomia. Anche se le comunicazioni con la Terra fossero cadute subito dopo gli approdi, gli esperimenti avrebbero potuto aver corso secondo un programma gestito dal calcolatore a bordo degli ORBITER per la durata di 22 giorni successivi all'interruzione dei rapporti. Dall'11 settembre il LANDER 1 è stato messo a « riposo » dopo 53 giorni d'attività ininterrotta; LANDER 2 ha continuato l'invio di dati dalla sua area d'approdo e ha mantenuto il contatto per 66 giorni complessivi, fino all'8 novembre. Da quel momento le comunicazioni sono state impedite dal fatto che Marte, rispetto alla Terra, si è trovato in *congiunzione*, ovvero è passato nel punto diametralmente opposto della sua orbita che ha raggiunto il 25 dello stesso mese; allora il disco del Sole, facendo schermo, ha interferito con le radiotrasmissioni ed ha costretto le missioni VIKING ad una prolungata « ibernazione ». Soltanto durante le festività natalizie da Pasadena, mediante un impulso radioelettrico, i due laboratori sono stati riattivati, in tempi successivi e non pare che le crude condizioni climatiche di Marte abbiano prodotto su di essi guasti irreparabili. Nel frattempo, i due ORBITER rimasti in gravitazione intorno al pianeta rosso, hanno continuato ad eseguire preziosi compiti scientifici, primo fra tutti, quello di eseguire con le telecamere di bordo uno scandaglio di elevatissima qualità e risoluzione della superficie marziana. L'orbita notevolmente ellittica in cui sono stati immessi, anche se di tipo « stazionario », consente una visione estesa oltre l'emisfero sottostante. Mediante opportune istruzioni da Terra, essa potrebbe anche esser resa *polare* e in tal modo, gli studiosi delle diverse discipline topografiche, aerografiche, geologiche, stanno accumulando un eccezionale e dettagliatissimo materiale di studio che completerà la conoscenza della superficie marziana fornita dalle immagini meno dettagliate inviate da MARINER 9, le quali si riferivano a solo il 10% del globo del pianeta. Gli apparati fotografici dell'ORBITER 2 hanno fotografato il satellite nâturale *Phobos* a soli 880 km di distanza mettendo chiaramente in evidenza il suo aspetto rugoso ed irregolare di squallido asteroide; il 15 settembre anche le immagini di *Deimos*, l'altro minuscolo corpo gravitante intorno a Marte, sono giunte a Pasadena, ed una settimana più tardi, il detector di bordo, a raggi infrarossi, per il vapor d'acqua ha consentito di tracciare una mappa termica della calotta polare nord del pianeta dalla quale risulterebbe la presenza pressoché totale di ghiaccio d'acqua a —70°. Le temperature dovrebbero essere ancora di 40° inferiori affinché il biossido di carbonio atmosferico possa cominciare a congelare. Altri dati di notevole importanza gli ORBITER li stanno fornendo ogni volta che essi scompaiono dietro il disco di Marte. L'analisi delle variazioni delle caratteristiche dei radiosegnali emessi (fase, intensità, potenza, rifrazione) consente di acquisire informazioni indirette sulla costituzione degli strati esterni dell'atmosfera marziana, sulla loro densità, sul contenuto in particelle solide (polveri e microcristalli) e sul loro stato di ionizzazione. Sembra che non esista una vera e propria ionosfera, bensì una debole coltre di particelle cariche a 2000 km di quota, generate dai meccanismi d' interazione del vento solare con il campo magnetico di Marte. Come avevamo anticipato, l'interesse dei dati forniti dai moduli orbitanti è veramente inestimabile, perché tali dati riferiscono condizioni fisiche e climatiche con estremo dettaglio, estese su scala planetaria: a nostro avviso, essi surclassano i risultati delle esperienze svolte al suolo dai LANDER perché quest'ultime, per quanto complesse, precise ed ingegnose, sono in realtà meno significative in quanto handicappate dalla limitatezza del loro campo d'azione. L'aspetto e la natura del mondo di Marte, quale lo si può delineare ora, dopo la serie fortunata dei MARINER e dei VIKING, costituisce un argomento che verrà trattato in un prossimo fascicolo.

Vincenzo Croce

Anche Marte aveva un'atmosfera

È stato fatto un confronto tra i dati rilevati dal Pathfinder e quelli avuti in precedenza dalla sonda Viking, inviata sul pianeta rosso negli anni Settanta, e il risultato sorprendente è che anche Marte, come la Terra, sembra avere una crosta, un mantello e un nucleo ferroso, che presuppongono temperature alte. Marte un tempo potrebbe aver quindi avuto un'atmosfera sufficientemente calda da permettere forme di vita. Ciò che ancora non è chiaro è se il nucleo ferroso di Marte sia solido o magmatico come quello terrestre. Nuclei magmatici sono molto rari nel sistema solare e al momento si pensa siano presenti solo nella Terra e in Mercurio. Secondo gli ultimi dati forniti dal Pathfinder, su Marte esistono piccole dune di sabbia che fanno presupporre la presenza di acqua in epoche passate. Così il Pathfinder continua a svelare segreti che provano un numero sempre maggiore di somiglianze tra la Terra e Marte.

La causa del diluvio universale

Il diluvio universale di cui si parla nella Bibbia si fonderebbe, secondo i due studiosi Bill Ryan e Walt Pitman del Lamont-Doherty Earth Observatory di New York, su un fatto reale: lo straripamento del Mar Nero e il conseguente allagamento delle aree costiere circostanti. Quello che chiamiamo «mare» originariamente era un lago formatosi in una depressione con il flusso delle acque provenienti dal ritiro dei ghiacci alla fine dell'era glaciale. Circa 7 mila anni fa la pressione dell'acqua del Mediterraneo si fece più incalzante per lo scioglimento dei ghiacci, fino a quando la barriera di sedimenti fu abbattuta nella zona del Bosforo. Dalle inondazioni che seguirono di 100 mila chilometri quadrati, deriva il mito del diluvio universale causato, per la Bibbia, dall'ira divina.

12-94-Nuova

edge-on spiral galaxy UGC 03214, which is receding from us at the rate of 4840 km per second (about one-sixtieth the speed of light). The image is part of the Sloan Digital Sky Survey. Photo: SDSS Collaboration.

techniques were used to select a few dozen objects which might be high-redshift quasars. A separate 3.5-metre telescope at Apache Point Observatory then verified that they had detected 12 new quasars at redshifts above 3.6.

The ultimate goal of the Sky Survey, an international collaboration of more than 100 scientists and engineers, is to map one quarter of the sky and create a systematic, three-dimensional picture of the Universe. The Survey team will first create digital images of the sky in five colours. A specially designed spectrograph on the 2.5 metre telescope will add the third dimension by measuring the redshifts - and, hence, the distances - of the million brightest galaxies, as well as perhaps 100,000 quasars.

Peter Bond

UK exobiology forum established

Scientists from many different fields of study have come together to share their expertise and contribute to a new discipline: the study of exobiology – the creation and evolution of life beyond Earth. Attending the first UK Exobiology Workshop in London were representatives from NASA, the German Space Research Institute, the British Antarctic Survey, the Natural History Museum, the British National Space Centre and more than 20 universities.

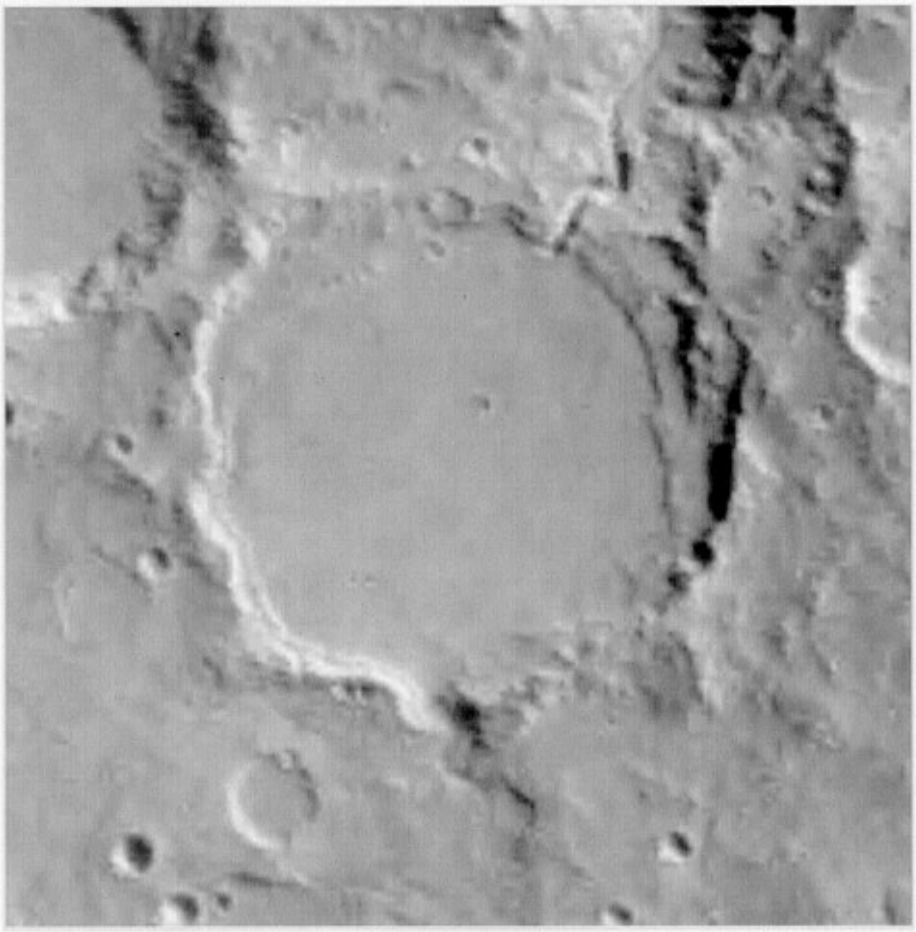
The 26 speakers covered a wide variety of exobiology-related topics. It was clearly demonstrated from studies of "extremophiles" (microbes which can survive in the most inhospitable environments) and their habitats that life forms on Earth are incredibly resilient and adaptable. The participants were also briefed on the latest techniques which could be employed to search for primitive life on Mars and other worlds.

The new Exobiology Committee will be chaired by Don Cowan of University College, London, an expert on extremophiles. Other members include Monica Grady (Natural History Museum), Alan Penny (Rutherford Appleton Laboratory), David Wynn-Williams (British Antarctic Survey) and G. Eglinton (Univeristy of Bristol).

Lunar Prospector lowered

On December 19, mission controllers at NASA's Ames Research Center lowered the Lunar Prospector spacecraft from its 100 km (63 mile) mapping orbit into a 40 km (25 mile) lunar polar orbit. After about four weeks in the new orbit, the spacecraft was to be dropped into an even lower 25-30 km (15 -19 mile) orbital path. Lunar Prospector will then have officially completed its very successful primary mission, which began in January 1998.

The extended mission is expected to continue until June 1999, enabling the five onboard instruments to gather additional science data at significantly higher resolutions. In particular, scientists will continue to study the concentration and form of hydrogen at the north and south lunar poles, which has generally be seen as evidence of water ice deposits. Mapping of the Moon's magnetic and gravity fields will also benefit greatly from the lower orbit. Global maps of the elements on the its surface will also be confirmed with the close-up data.



generando un'intensa attività vulcanica. Secondo i calcoli, questi episodi di intenso vulcanismo si sarebbero ripetuti su Marte con un periodo compreso tra 100 milioni e un miliardo di anni.
Con il passare del tempo, però, i radionuclidi progressivamente si ridussero di numero (a causa del decadimento), diventando alla fine incapaci di produrre le differenze di temperatura necessarie per causare ulteriori fenomeni di questo tipo e una ripresa dell'attività endogena. L'ultimo episodio dovrebbe risalire a circa 300 milioni di anni fa. Da allora il pianeta è rimasto definitivamente secco e freddo assumendo l'aspetto desolato che esso ha ai nostri giorni.

A ONOR DEL VERO, l'idea secondo cui Marte abbia avuto in passato un clima molto diverso da quello attuale non gode dell'unanimità dei consensi. Qualche ricercatore ritiene infatti che il clima marziano non abbia mai subito drastiche variazioni e che esso sia sempre stato simile a quello attuale. Ora, come abbiamo già visto, con un clima simile a quello attuale l'acqua non può esistere allo stato liquido sulla superficie del pianeta e non può quindi scavare canali o formare laghi o mari. Pertanto questi ricercatori pensano che tutti i canali dendritici siano dovuti a cedimenti strutturali del terreno prodotti da scorrimenti di acque calde sotterranee e che le terrazze, di cui abbiamo parlato in precedenza, non siano dovute all'erosione da parte del moto ondoso in un lago o in un mare, ma siano invece strati sovrapposti di lava solidificata. Quindi la questione di come fosse veramente il clima di Marte nel passato rimane ancora aperta.
Per risolvere questo problema un ruolo importante è giocato da un tipo di sostanze dette carbonati. Questi (come ad esempio i carbonati di calcio, di magnesio, di ferro, ecc.) sono sali dell'acido carbonico, molto diffusi sulla Terra dove spesso danno origine a depositi presenti in forma compatta (rocce) o incoerente (sabbie) sul fondo dei laghi e dei mari. Pur essendo sempre di natura inorganica, talvolta questi depositi hanno un'origine biologica. Un tipico esempio è costituito dalla catena delle Dolomiti, che sono prevalentemente costituite da un carbonato doppio di calcio e magnesio, detto appunto dolomite. Questo minerale è il risultato della fossilizzazione dei depositi corallini (portati successivamente in quota da processi orogenetici) che si formarono quasi 200 milioni di anni fa nelle acque calde e localmente poco profonde del mare che un tempo occupava buona parte dell'attuale Europa centro-meridionale.
Generalmente, però, i depositi carbonatici hanno un'origine inorganica, formandosi secondo un processo alquanto complesso che può essere schematizzato come segue. L'anidride carbonica atmosferica, disciolta in acqua, rende quest'ultima leggermente acida, permettendole di dissolvere le rocce silicatiche che formano i letti dei fiumi e i bacini lacustri e marini. Dal momento che tali rocce contengono cospicue quantità di calcio, magnesio, ferro, ecc., a seguito del loro dissolvimento l'acqua si arricchisce di ioni di questi elementi che reagiscono con altri ioni, contenenti carbonio e ossigeno, dovuti all'anidride carbonica. Si vengono così a formare i carbonati di calcio, di magnesio ecc. che precipitano sul fondo, dove col tempo possono dar luogo a spessi depositi.
Se in qualche area della superficie di Marte si dovesse scoprire la presenza di grandi depositi carbonatici, allora avremmo la prova che tali aree erano effettivamente occupate da distese di acqua allo stato liquido (appunto perché si richiede un ambiente acquoso perché avvenga la formazione e la precipitazione dei carbonati). Ciò avrebbe come naturale conseguenza, stante l'attuale estrema instabilità dell'acqua allo stato liquido sulla superficie del pianeta, che il paleoclima di Marte doveva essere molto diverso da quello attuale. Ma come si fa a individuare rocce e sabbie carbonatiche sulla superficie marziana?
Evidentemente un metodo è quello di determinare direttamente la composizione mineralogica di uno o più campioni di suolo marziano. Questo metodo diretto, che sfrutta diverse tecniche di analisi geochimica da effettuare *in situ*, dovrebbe essere utilizzato dai *lan-*

der del programma Mars Surveyor che la NASA prevede di far scendere sulla superficie del pianeta nei prossimi anni. Esso sarà anche utilizzato quando un campione di suolo marziano sarà raccolto da una sonda automatica e riportato sulla Terra per essere studiato nei nostri laboratori. Una tale missione è prevista dalla NASA per il 2005.

Un inconveniente, però, di questa strategia di ricerca consiste nel fatto che non sempre le aree più promettenti per l'individuazione dei depositi carbonatici sono anche facilmente accessibili. Sicuramente più pratico, per la sua più generale applicabilità, è il metodo indiretto dell'identificazione dei carbonati dall'alto, cioè da parte di una sonda in orbita, usando tecniche di telerilevamento (ossia di individuazione a distanza). Questo metodo doveva essere utilizzato durante la missione russa Mars 96, fallita lo scorso novembre per un difetto nel motore dell'ultimo stadio del razzo vettore. Nell'ambito di quella missione, il Gruppo di Fisica Cosmica dell'Università di Lecce ha partecipato a una collaborazione internazionale diretta da V. Formisano dell'Istituto di Fisica dello Spazio Interplanetario di Roma, per la progettazione e la realizzazione di uno strumento chiamato PFS (Planetary Fourier Spectrometer) atto a determinare la composizione dell'atmosfera e del suolo marziano. Quel che speriamo è che una versione leggermente modificata di questo stesso strumento possa essere montata a bordo di una nuova sonda, la Mars Express, che l'ESA prevede di lanciare verso Marte nel 2003, a meno di nuovi tagli nel bilancio dell'Agenzia.

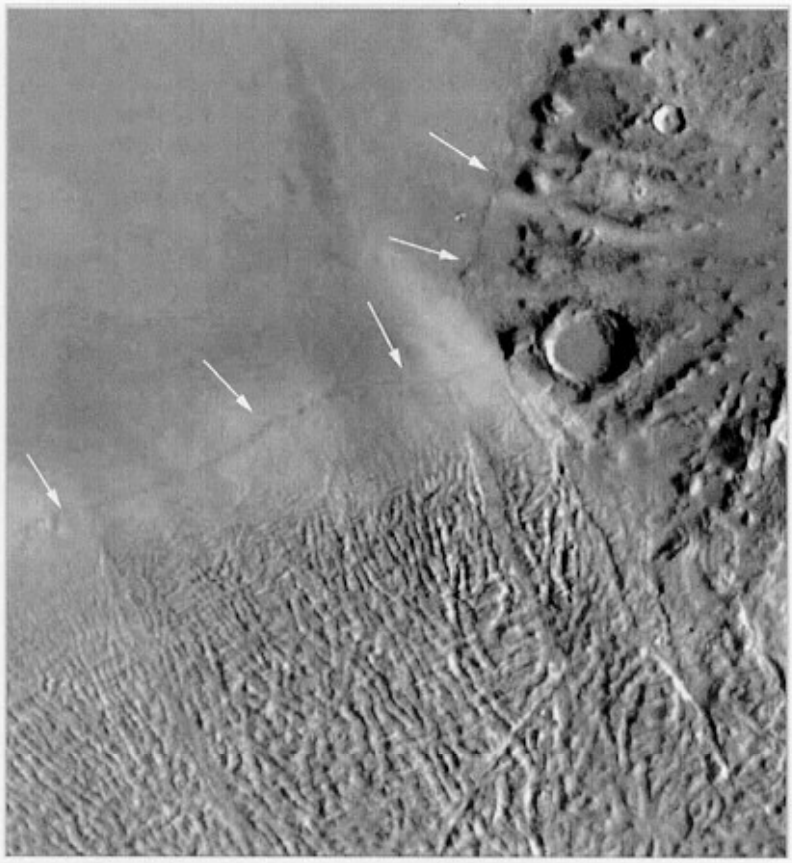


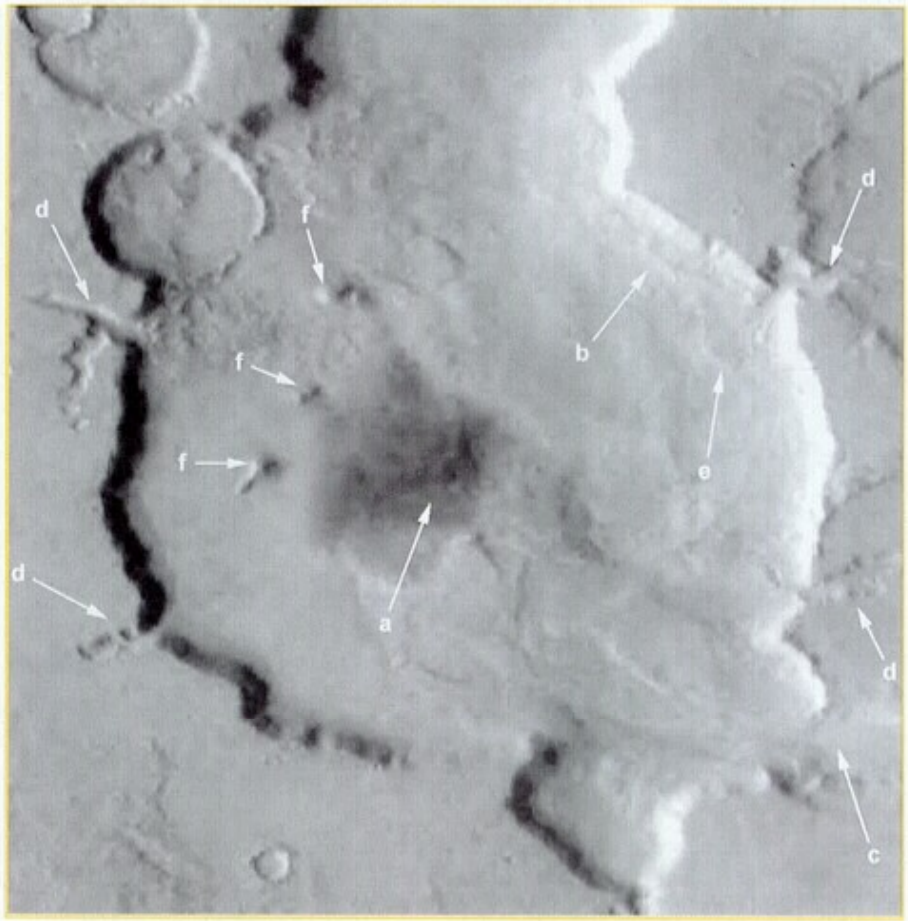
Immagine della presunta linea di separazione tra terre emerse e oceano a nord del vulcano Mons Olympus (42° N, 145° O). Qui, come in altre aree dei bassopiani settentrionali del pianeta, è possibile scorgere una sorta di gradino (indicato dalle frecce) che è stato presumibilmente prodotto dal moto ondoso e che ricorda la scarpata continentale degli oceani sulla Terra. Il cratere più grande visibile in questa foto ha un diametro di una ventina di chilometri.
(a pag. 29 in alto) Fotomosaico del più grande vulcano marziano, il Mons Olympus, alto 25 km e del diametro di oltre 600 km. Si noti la scarpata che circonda pressoché completamente la base del vulcano e che si innalza fino a 8000 m sul terreno circostante. Essa presenta una morfologia simile a quella della scarpata continentale degli oceani terrestri.

PER COMPRENDERE QUESTO METODO INDIRETTO dell'individuazione a distanza, occorre ricordare che i corpi a temperatura ambiente o più freddi non emettono luce ma radiazione infrarossa. Così come la luce è costituita di diverse componenti (e cioè i colori), anche la radiazione infrarossa può essere scomposta nelle sue componenti, ciascuna individuata da una data lunghezza d'onda. A seconda della sostanza di cui è costituito e delle condizioni fisiche in cui si trova, un corpo emette più energia a certe lunghezze d'onda e meno ad altre. Esiste uno strumento, chiamato spettrometro, atto a misurare quanta energia un corpo emette alle varie lunghezze d'onda. Tale strumento è in grado di fornire un grafico, in cui in ascissa si ha la lunghezza d'onda e in ordinata l'energia emessa dal corpo a quella data lunghezza d'onda. Un grafico di questo tipo è detto *spettro di emissione* del corpo in esame. Sostanze diverse hanno spettri di emissione diversi che presentano massimi e minimi (bande) caratteristici a ben determinate lunghezze d'onda. Per questo, la presenza nello spettro di un certo corpo di una o più bande a determinate lunghezze d'onda permette, almeno in linea di principio, di individuare la sostanza di cui è fatto il corpo senza ricorrere ad analisi mineralogiche.

Con uno spettrometro tipo il PFS, posto a bordo di una sonda in orbita intorno a Marte, è possibile misurare lo spettro di emissione di varie aree del pianeta. D'altro canto, con uno spettrometro posto in laboratorio si possono misurare gli spettri di diverse sostanze. Confrontando gli spettri di laboratorio con quello di una certa regione di Marte si può sperare di individuare la sostanza che rappresenta il principale costituente del suolo.

Naturalmente, questo tipo di analisi spettrale è tutt'altro che semplice, sia dal punto di vista dello strumento in orbita (a causa del contributo all'emissione da parte dell'atmosfera) sia dal punto di vista dello strumento in laboratorio (in quanto corpi composti della stessa sostanza hanno in generale spettri di emissione diversi, a causa delle diverse caratteristiche fisiche dei campioni, quali temperatura, grado di compattazione, presenza di impurezze, ecc.). Si deve allora ricorrere a simulazioni

Dopo il lungo periodo di quiescenza successivo al primo miliardo di anni, è molto probabile che l'attività vulcanica a un certo punto riprese; le eruzioni immisero nell'atmosfera anidride carbonica, aumentando la pressione, mentre il flusso di calore interno provocò la fusione del *permafrost* e la formazione pressoché contemporanea di molti canali di deflusso (forse innescata da grandi terremoti). L'enorme massa d'acqua liberata si riversò nei bassopiani settentrionali dando luogo a un oceano con una profondità media di 700-1700 metri. Le ingenti quantità di vapor acqueo e anidride carbonica prodotte in questo processo innalzarono nuovamente per effetto serra la temperatura del pianeta. Venne così a instaurarsi su Marte un ciclo idrologico dall'oceano al suolo, tramite l'atmosfera, e di nuovo all'oceano, tramite i corsi fluviali. In questo periodo di clima temperato, esattamente come avviene sulla Terra, l'acqua evaporando dall'oceano e dai laghi formava nubi, ricadendo sotto forma di pioggia o di neve sul terreno. In questo secondo caso, specialmente a elevate latitudini, processi di accumulo della neve dovrebbero aver dato luogo alla formazione di ghiacciai. Infatti, in alcune zone circumpolari della superficie marziana sono state rivelate strutture geologiche (ad esempio, depositi sedimentari molto simili a morene) interpretabili come dovute all'antica presenza di ghiacciai. Si noti che la formazione di ghiacciai, soprattutto nell'emisfero meridionale, è praticamente impossibile nelle attuali condizioni climatiche. Infatti, le uniche precipitazioni attualmente possibili, quelle di neve di anidride carbonica che si hanno ai poli in pieno inverno, non sono in grado di generare accumuli permanenti di ghiaccio secco poiché questa sostanza sublima rapidamente non appena la temperatura sale oltre i −128 °C.



Bacino d'impatto dalla forma irregolare (34° N, 343° O), che in passato potrebbe essere stato occupato da un lago. Gli indizi che suggeriscono questa conclusione sono: i depositi sedimentari di materiale molto scuro (a), visibili al centro del bacino, che potrebbero essere di origine lacustre; le terrazze (b) che sembrano essere dovute a processi erosivi di natura meccanica prodotti dal moto ondoso; un grande immissario (c) che entra nel bacino in basso a destra; un grande emissario che esce dal bacino in un punto non raffigurato in questa foto (verso l'alto); vari immissari minori (d), tra cui uno che mostra alla foce una struttura a ventaglio (e) che dovrebbe essere dovuta al deposito di detriti trasportati dal corso fluviale. Si notino i tre rilievi (f) che probabilmente si elevavano al di sopra del livello delle acque, dando luogo a isole. Il bacino ha una dimensione longitudinale di 50 km circa.
(a pag. 27) Altro interessante esempio di cratere d'impatto (del diametro di una cinquantina di chilometri) che un tempo potrebbe aver ospitato un lago al suo interno. Sul bordo sinistro di questo cratere (15° S, 175° O) è particolarmente evidente un sistema ben sviluppato di terrazze a varie altezze che suggerisce che il livello dell'acqua deve essere cambiato più volte nella vita del lago. Anche questo lago aveva un immissario (in basso al centro) e un emissario (in alto verso destra).

L'attività vulcanica non durò indefinitamente. A un certo punto si arrestò di nuovo; il pianeta, di conseguenza, si raffreddò e tutte le distese d'acqua in breve tempo sparirono. Ciò dovrebbe essere avvenuto dopo decine o centinaia di migliaia di anni dalla formazione dell'oceano; un tempo più che sufficiente per produrre le valli fluviali, i terrazzamenti e i depositi morenici di cui si osservano le tracce sulla superficie, ma non abbastanza lungo per operare, tramite processi erosivi dovuti agli agenti atmosferici, sostanziali modifiche di tutta la superficie del pianeta (ad esempio, la pressoché completa cancellazione di gran parte dei crateri meteorici).
E' molto probabile che brevi episodi di vulcanismo diedero luogo a ripetute formazioni e poi sparizioni dell'oceano, con conseguente ritorno, e successivo declino, di condizioni climatiche relativamente calde e umide. Tali recrudescenze dell'attività vulcanica potrebbero essere dovute a periodici sommovimenti tra lo strato più esterno e quello più interno del mantello marziano, previsti da complessi modelli che ne attribuiscono le cause al decadimento dei radionuclidi. In effetti, a ogni sommovimento del mantello quest'ultimo dovrebbe aver esercitato forti tensioni di taglio sulla base della litosfera,

In questa immagine, recentemente inviata dalla Mars Global Surveyor, sono visibili due depressioni (al centro e in alto a sinistra) che sembrano i fondali di piccoli laghi evaporati. Il materiale chiaro sul fondo potrebbe essere sale o qualche altro minerale depositatosi in seguito all'evaporazione dell'acqua, e le leggere linee scure che lo attraversano potrebbero essere fratture provocatesi nella crosta essiccata, come succede sul fondo di una palude evaporata. *(NASA)*

morfologia notevolmente diversa da quella dei crateri degradati che si osservano sugli altopiani marziani. Secondo alcuni ricercatori tale cratere si trovava originariamente su un terreno che è stato poi sommerso dalle acque dell'Oceanus Borealis che l'hanno eroso e ricoperto di detriti, tanto da rendere difficile riconoscere l'originaria struttura da impatto. Tale meccanismo spiegherebbe perché nei bassopiani settentrionali del pianeta si contano di gran lunga meno crateri rispetto agli altopiani.

IL DESTINO FINALE delle enormi quantità d'acqua costituenti l'ipotetico oceano marziano non è noto con certezza. La cosa più probabile è che col tempo tutta quest'acqua possa essere completamente evaporata, sfuggendo poi nello spazio o depositandosi parzialmente ai poli sotto forma di ghiaccio. Tuttavia, una parte di essa potrebbe anche essersi infiltrata nel sottosuolo, dove, al mutare delle condizioni climatiche, può aver dato luogo allo strato di *permafrost*. Non si può neanche escludere che parte di essa sia congelata sul posto e sia ancora presente in molti dei bassopiani settentrionali sotto una coltre protettiva di sabbia e polvere che ne impedisce la sublimazione.

Ma l'acqua non dovrebbe essere stata la sola sostanza sfuggita massicciamente dall'atmosfera marziana. Secondo diversi modelli evolutivi, nel corso della vita del pianeta, un'enorme quantità di anidride carbonica si è pure dispersa nello spazio. I calcoli mostrano infatti che la quantità totale di questo gas, prima che venisse persa dal pianeta, avrebbe costituito una densa atmosfera in grado di esercitare al suolo una pressione tripla di quella che si riscontra alla superficie terrestre.

Secondo questi modelli, l'evoluzione climatica del pianeta può essere tracciata nel seguente modo. Nel primo miliardo di anni le frequenti eruzioni vulcaniche, immettendo nell'atmosfera grandi quantità di anidride carbonica, erano agevolmente in grado di compensare le perdite di questo gas dovute alla sua fuga verso lo spazio esterno e al suo intrappolamento nel suolo e nelle calotte polari. In questo periodo iniziale della storia del pianeta l'atmosfera era dunque sufficientemente densa da riscaldare per effetto serra la superficie di Marte al di sopra del punto di fusione dell'acqua. Di conseguenza, il clima era molto più caldo e umido di quanto non sia oggi. Successivamente l'atmosfera diventò rarefatta, a causa del fatto che la ridotta attività vulcanica non fu più in grado di compensare le perdite di anidride carbonica. Per questo il pianeta divenne freddo e secco. E così si è mantenuto fino ai nostri giorni, a parte forse alcuni importanti episodi di clima relativamente mite, sia pure brevi (della durata inferiore ad un milione di anni) e isolati.

Diverse cause, quali variazioni della luminosità solare, del potere riflettente delle calotte polari, dei parametri orbitali e dell'inclinazione dell'asse di rotazione del pianeta, nonché dell'attività vulcanica potrebbero aver prodotto un temporaneo ritorno su scala globale delle iniziali condizioni climatiche relativamente calde e umide.

Un meccanismo interessante sembra essere quello legato alle oscillazioni dell'inclinazione dell'asse di rotazione marziano rispetto alla perpendicolare al piano orbitale. Questa inclinazione, che attualmente è di circa 25°, varia infatti in modo non periodico, raggiungendo sporadicamente valori massimi di 60° su tempi-scala dell'ordine dei 10 milioni di anni. E' chiaro che, durante i periodi di grande inclinazione dell'asse di rotazione, le calotte polari del pianeta si sono trovate esposte a dosi massicce di radiazione solare. La conseguente sublimazione dei ghiacci avrebbe così immesso nell'atmosfera grandi quantità di anidride carbonica e vapor acqueo che per effetto serra avrebbero temporaneamente innalzato la temperatura superficiale del pianeta.

ANCHE PERIODI DI INTENSO VULCANISMO possono avere provocato un temporaneo ritorno del pianeta alle iniziali condizioni relativamente calde e umide.

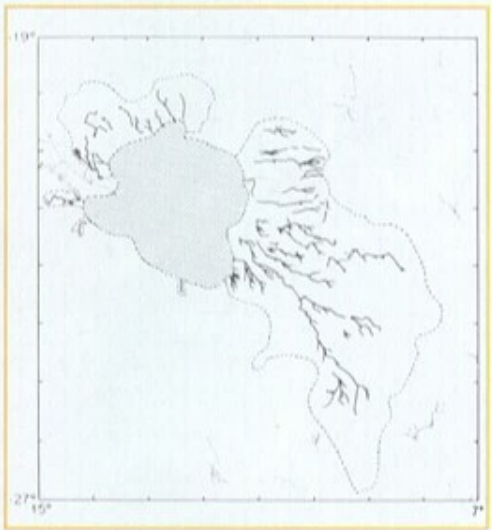
bordi di questi bacini spesso si osservano, oltre a vari immissari e singoli emissari, anche terrazze che sembrano essere dovute a erosione di natura meccanica prodotta dal moto delle onde. Adesso questi laghi sono ovviamente in secca e in molti casi tutto ciò che rimane è un accumulo di detriti trasportati dai fiumi e depositatisi sul fondo dei bacini. Tuttavia in passato, a giudicare dal grande spessore dei depositi, acqua allo stato liquido dovrebbe essere stata a lungo presente in molti di questi laghi.

Secondo alcuni ricercatori i due più estesi laghi marziani erano ospitati negli enormi bacini d'impatto di Argyre e di Hellas, e dovevano essere rispettivamente due e sette volte più vasti del più grande lago terrestre, il Mar Caspio. Non si può neanche escludere che su Marte sia esistito un vero e proprio oceano. Alcuni gruppi di ricerca hanno infatti avanzato l'ipotesi che tale oceano, cui è stato dato il nome di Oceanus Borealis, coprisse gran parte delle piane settentrionali del pianeta, estendendosi probabilmente su una frazione tutt'altro che trascurabile della superficie.

Quali sono gli indizi che suggeriscono la presenza di questo oceano? Uno è fornito da alcune immagini, riprese dagli Orbiter Viking, che mostrano la presunta linea di separazione tra terre emerse e oceano in diverse zone della superficie del pianeta. In queste immagini la linea di costa è individuata da strutture a terrazza che indicano il livello raggiunto dalle acque e la cui origine viene attribuita, come prima, all'erosione dovuta al moto ondoso.

Altre strutture geologiche che suggeriscono l'antica presenza di un oceano sono le scarpate che circondano pressoché completamente la base di due tra i più importanti vulcani marziani: il Mons Olympus (che con il suo diametro di oltre 600 km e l'altezza di 25 km sui piani sottostanti è il più grande vulcano di Marte) e l'Apollinaris Patera (largo 400 km e alto 7 km). Nel primo caso la scarpata si innalza fino a 8000 m sui piani sottostanti mentre nel secondo è alta tra i 500 e i 1500 metri. L'idea è che queste scarpate abbiano un'origine simile a quella della cosiddetta scarpata continentale degli oceani terrestri, cui somigliano strutturalmente, e che quindi siano state prodotte dall'azione erosiva delle onde del mare. In effetti, l'edificio vulcanico di Mons Olympus si sarebbe trovato in prossimità della linea costiera dell'Oceanus Borealis, mentre Apollinaris Patera sarebbe stato interamente circondato da tale oceano, costituendo un'isola a ridosso della costa. Si noti che tutti gli altri vulcani marziani non mostrano scarpate alla loro base e ciò può dipendere dal fatto che si trovano tutti su altopiani, abbastanza lontani dal presunto oceano.

Un ulteriore indizio dell'antica presenza di un oceano è fornito da un cratere sito in Acidalia Planitia, uno dei bassopiani settentrionali del pianeta. Tale cratere, dall'aspetto eccezionalmente degradato ed eroso, ha una



Una depressione della superficie marziana (22° S, 13° O). Si suppone che un tempo tale zona probabilmente ospitava un lago: si notino gli immissari principali (a), l'unico emissario (b) che usciva dalla riva occidentale del lago scorrendo verso nord-ovest, nonché il terreno gibboso e altamente irregolare all'interno del bacino (c), che probabilmente è un accumulo di detriti trasportati dagli immissari e depositati sul fondo. La depressione, che misura circa 170 km, è evidenziata nella mappa qui sopra (zona punteggiata), che mostra anche tutti gli immissari con le loro presunte aree di drenaggio, delimitate dalle linee tratteggiate. *(Goldspiel e Squyres,* Icarus **89**, *392; 1991)*

Un'immagine di Giove ripresa dalla camera ISOCAM a bordo del satellite ISO. A causa dell'eccessiva luminosità del pianeta non è stato possibile identificare le righe di emissione dell'acqua, individuate invece per Saturno, Urano e Nettuno. L'origine dell'acqua rilevata nella stratosfera di questi pianeti è ancora da chiarire.

questo blocco sia ancora più efficace nelle tropopause ancora più fredde dei pianeti esterni. In verità però le recenti misure mostrano concentrazioni di acqua nelle stratosfere dei tre pianeti che sono migliaia di volte inferiori a quelle terrestri e pari a sole 20 parti per miliardo rispetto alle poche parti per milione presenti nella nostra; ma tuttavia, anche se di valore così basso, queste abbondanze risultano troppo elevate per poter essere originate dalle regioni più interne dei tre pianeti. Si deve dedurre quindi che buona parte dell'acqua osservata provenga dall'esterno.

Ma quali potrebbero essere le sorgenti esterne? Si suppone che siano essenzialmente quattro. La prima potrebbe essere rappresentata dalle numerose particelle ghiacciate, per lo più di origine cometaria, che affollano lo spazio interplanetario, e che vengono "spazzate" dai pianeti durante il loro moto orbitale attorno al Sole. La seconda dagli impatti nelle atmosfere di questi pianeti, peraltro poco frequenti, di oggetti cometari di dimensioni dell'ordine del chilometro; sebbene l'apporto di acqua dovuto a questo meccanismo potrebbe essere sufficiente a giustificare le abbondanze osservate, l'impatto dei frammenti della cometa Shoemaker-Levy 9 su Giove ha mostrato che buona parte dell'acqua cometaria, reagendo con il metano atmosferico è stata convertita in ossido di carbonio (CO). La terza possibilità è che l'acqua potrebbe originarsi a seguito dell'erosione del materiale ghiacciato che forma gli anelli dei pianeti giganti per il continuo bombardamento di micrometeoriti [*v. l'astronomia n. 176, pag. 11*].

Un'altra potenziale sorgente potrebbe essere individuata nell'analoga erosione della superficie dei satelliti ghiacciati. Questa ipotesi sembra essere suffragata dalla scoperta del radicale OH nella magnetosfera di Saturno in prossimità dell'orbita di Thetis. I flussi richiesti per giustificare le abbondanze osservate sono tutto sommato relativamente bassi (tra 10^5 e 10^7 molecole di acqua al centimetro quadrato e al secondo), se confrontati, ad esempio, con i 3×10^8 atomi di idrogeno al centimetro quadrato al secondo che dall'atmosfera terrestre sfuggono nello spazio.

Le osservazioni di ISO hanno inoltre rilevato un'abbondanza relativamente elevata di anidride carbonica (CO_2) su Saturno e Nettuno, a differenza che su Urano ove è presente solo in tracce. Tra i possibili responsabili della presenza di CO_2 vi è il CO, trasportato dai moti atmosferici verso le regioni più esterne, e che risulta essere molto poco abbondante su Urano. Parte del CO potrebbe quindi essere ossidato dall'OH prodotto dalla fotolisi delle molecole di acqua e dare luogo alla produzione di CO_2. Un processo analogo è con ogni probabilità il responsabile della produzione di questa molecola nella stratosfera di Titano.

Le misure di ISO hanno permesso di stabilire che sulla base dell'abbondanza di vapor d'acqua osservato nell'atmosfera dei pianeti esterni le valutazioni fatte sul flusso di particelle ghiacciate in questa parte dello spazio interplanetario erano fondamentalmente corrette. Ma questa conclusione aiuta anche a far luce su un problema che interessa da vicino il nostro pianeta. Circa undici anni fa, e di nuovo recentemente, alcuni ricercatori americani, sulla base di osservazioni ultraviolette dei più alti strati dell'atmosfera terrestre, annunciarono che il nostro pianeta viene bombardato ogni ora da oltre 1000 minicomete aventi massa dell'ordine di alcune decine di tonnellate che si vaporizzano a centinaia di chilometri di altezza.

Le obiezioni sollevate a questo annuncio, specialmente sulla base dell'enorme flusso di 4×10^{10} molecole d'acqua al centimetro quadrato per secondo che sarebbe conseguente ad un fenomeno del genere, sono state numerose: perché gli oceani non sono molto più profondi? Perché queste minicomete non sono mai state osservate? Perché i sismometri portati sulla Luna dagli astronauti delle missioni Apollo non hanno mai registrato questa continua raffica di impatti?

La misura del vapor d'acqua nella stratosfera dei pianeti esterni pone un limite superiore al flusso di queste ipotetiche minicomete, aggiungendo così un'altra obiezione: non è logico aspettarci un flusso di corpi ghiacciati sulla Terra superiore a quello presente nelle regioni esterne del Sistema Solare, che sono il regno delle comete. Si badi che, l'ipotetico flusso di minicomete sarebbe maggiore di un fattore compreso tra diecimila e un milione rispetto a quello presente nella regione dei pianeti giganti.

Mario Di Martino

Cline e altri, *Ap.J.* 486, 169; 1997) e sembrano tutto sommato incoraggianti. Gli autori hanno stabilito che le caratteristiche fondamentali che un gamma *burst* deve avere per essere ragionevolmente attribuito all'evaporazione di un buco nero sono: durata molto breve (non più di qualche centesimo di secondo), presenza di un unico picco molto ripido, energia dei fotoni gamma maggiore nei *burst* di durata più breve. Sono così riusciti a individuarne 11 che hanno queste caratteristiche, pari a circa il 2% del campione esaminato. Come abbiamo accennato, si sa che gli eventi di evaporazione devono essere piuttosto rari, e anzi si può cercare di calcolare quanti ne dovremmo osservare, nell'ipotesi che siano alla portata degli strumenti solo i buchi neri primordiali catturati nell'alone della nostra Galassia, attualmente distribuiti in modo omogeneo attorno al Sole.
I calcoli indicano che il numero che ci aspetta è proprio all'incirca quello trovato, e anche la distribuzione spaziale degli 11 eventi individuati sembra abbastanza omogenea. Naturalmente, come gli autori stessi sottolineano, siamo ancora ben lontani da poter dire che l'ipotesi è verificata. Il numero di candidati è troppo basso per analisi statistiche serie e i modelli adottati dipendono ancora in modo determinante da ipotesi poco verificate e non del tutto chiare nemmeno a livello teorico. Per attribuire in modo pressoché certo un gamma *burst* alla evaporazione di un buco nero primordiale dovremmo riuscire a distinguere, nell'evoluzione temporale del lampo, strutture della durata di pochi nanosecondi; in tal caso infatti potremmo affermare che le dimensioni della sorgente sono dell'ordine dello spazio percorso dalla luce in tale tempo (meno di un metro) escludendo quindi tutte le sorgenti astrofisiche note, come stelle di neutroni o buchi neri di grande massa. Purtroppo, una simile risoluzione temporale è per ora fuori dalla portata di tutti i rivelatori operativi, ma vale la pena di lavorare per arrivarci, visto che in ballo potrebbe esserci una delle scoperte più importanti di tutta la storia della fisica.

Emilio Novati

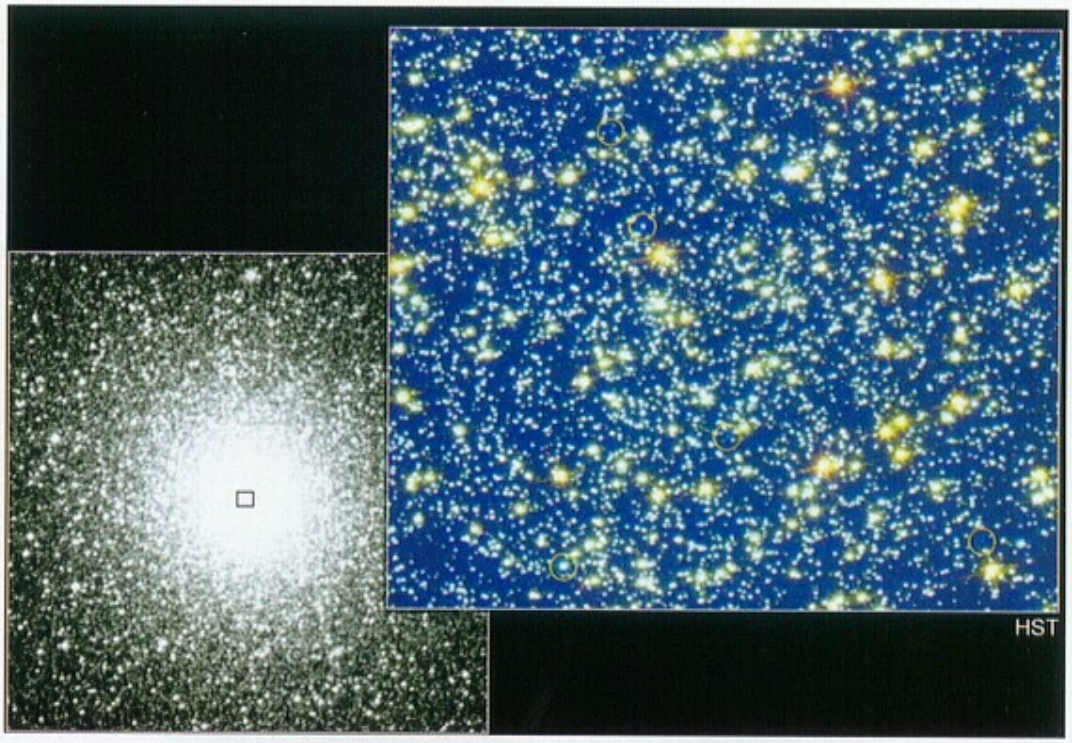
Fusione "dolce" per le *blue straggler*

Uno scenario di formazione per queste stelle anomale convalidato da osservazioni dell'HST.

DUE MESI FA, proprio mentre *l'astronomia* ospitava un bell'articolo di Lara Sidoli sul mistero delle stelle "vagabonde blu" *[v. l'astronomia n. 181, pag. 18]*, veniva diffusa dallo Space Telescope Science Institute di Baltimora la notizia che un'importante osservazione del Telescopio Spaziale aveva contributo a sfoltire la selva delle interpretazioni proposte dagli astronomi per spiegare la natura e le modalità di formazione di queste stelle inusuali.
Ricordiamo in sintesi di che si tratta. Le *blue straggler* ("vagabonde blu") sono stelle che popolano gli ammassi globulari, ma che presentano un colore e una luminosità decisamente anomali in confronto alle decine di migliaia di astri che le circondano da vicino: sono molto più brillanti e più calde, cioè più blu, di questi. E' come se, per un qualche motivo che ancora sfugge, queste stelle avessero potuto prolungare oltre misura la loro giovinezza; la forte luminosità e il colore azzurro sono infatti parametri caratteristici delle stelle giovani. Queste manifestazioni di gioventù sarebbero del tutto normali se si verificassero nel disco galattico, ma stridono nell'ambiente di un ammasso globulare, la cui età tipica è di molti miliardi di anni: non a caso, le *blue straggler* vengono prontamente riconosciute nelle riprese telescopiche, anche se i telescopi terrestri riescono a individuarle solo nelle regioni periferiche degli ammassi, che sono meno dense di stelle. Al contrario, l'occhio acuto dell'"Hubble" è riuscito a stanarne a decine proprio nella zona centrale di un globulare denso come è 47 Tucanae, lo splendido oggetto che brilla nel cielo meridionale, godibile già a occhio nudo pure se dista 15 mila anni luce dalla Terra.
La luminosità delle *blue straggler* indica che la loro massa dev'essere all'incirca pari a 1,5 volte quella del Sole. Il paradosso è tutto qui: le stelle di questa massa non possono restare così a lungo in sequenza principale; e infatti migliaia di consorelle di pari taglia hanno già virato da tempo verso la regione delle giganti rosse. Viene dunque da pensare che la massa sia stata acquisita in un secondo tempo a seguito di un qualche evento singolare e traumatico che ha trasformato una piccola stellina in un astro vistoso, scaraventandolo verso la parte alta della sequenza principale che il tempo aveva già progressivamente svuotato dei suoi originali inquilini.
Ma che tipo di evento? Si facevano, tra le altre, due ipotesi. La prima è quella di una collisione, con fusione, tra due stelle di piccola massa, in rapido moto in un ambiente di alta densità stellare dove gli urti possono rappresentare un'eventualità non frequentissima ma neppure troppo remota; l'altra è che la fusione riguardi due compagne allacciate in un sistema binario stretto che scivolano dolcemente sempre più vicine l'una all'altra fino a congiungersi e ad amalgamarsi in un oggetto unico. Le osservazioni del Telescopio Spaziale tendono a favorire quest'ultimo scenario.
Le misure, compiute con il vecchio Spettrografo per Oggetti Deboli, che è stato rimosso dal fuoco dell'"Hubble" nel corso della seconda missione di servizio lo scorso febbraio, hanno consentito di fissare i principali parametri fisici di BSS-19, una *blue straggler* di 47 Tuc, quali la temperatura fotosferica, il raggio, la velocità di rotazione, la gravità superficiale e la massa. E' il caso di sottolineare che questa è la prima misura diretta della massa di una *blue straggler*, che cioè non si basa su assunti ipotetici relativi al suo stato evolutivo, ed è interessante che il risultato di 1,7 masse solari si collochi giusto al livello del doppio della massa delle stelle che in 47 Tuc stanno lasciando la sequenza principale affacciandosi al cosiddetto punto di *turnoff*, l'estremo superiore della sequenza stessa. Questo fatto tende a convalidare lo scenario della fusione, che vede protagoniste due stelle della popolazione tipica dell'ammasso; si fosse trovata una massa 3-4 volte quella del Sole, gli astrofisici si sarebbero trovati completamente spiazzati, incapaci di giustificare la presenza di un tale "mostro" ipertrofico.
Tra le due fusioni, poi, le misure dell'HST favoriscono la modalità "dolce" perché la velocità di rotazione su se stessa della BSS-19 è notevolmente elevata, dell'ordine di 70-80 volte quella del Sole. Se le due stelle si fossero fuse per un incontro-scontro casuale, l'energia liberata nell'urto avrebbe elevato la temperatura dell'astro risultante che si sarebbe espanso come un'enorme gigante rossa. In queste circostanze, calcoli teorici indicano che viene favorita la dispersione di materia e con essa di una buona frazione del momento angolare (un parametro dinamico legato alla

rotazione); quando poi la stella torna a condizioni più normali di raggio e temperatura, l'astro risultante non dovrebbe essere un rotatore veloce come invece è BSS-19.
Evidentemente, da un caso isolato non si può trarre una conclusione valida in termini generali. Può essere che anche la fusione per urto sia un meccanismo di formazione accettabile. Il risultato significativo è la misura diretta della massa e della gravità superficiale che escludono che le *blue straggler* siano stelle evolute, per qualche motivo camuffate da astri di sequenza principale: dunque la fusione pare lo scenario più credibile per la formazione di queste stelle anomale. Se ciò avvenga per urto o per coalescenza lenta è materia di ulteriori verifiche, anche di natura statistica, comparando la frequenza di *blue straggler* con quella di sistemi binari stretti negli ambienti specifici in cui compaiono le "vagabonde blu".

Corrado Lamberti



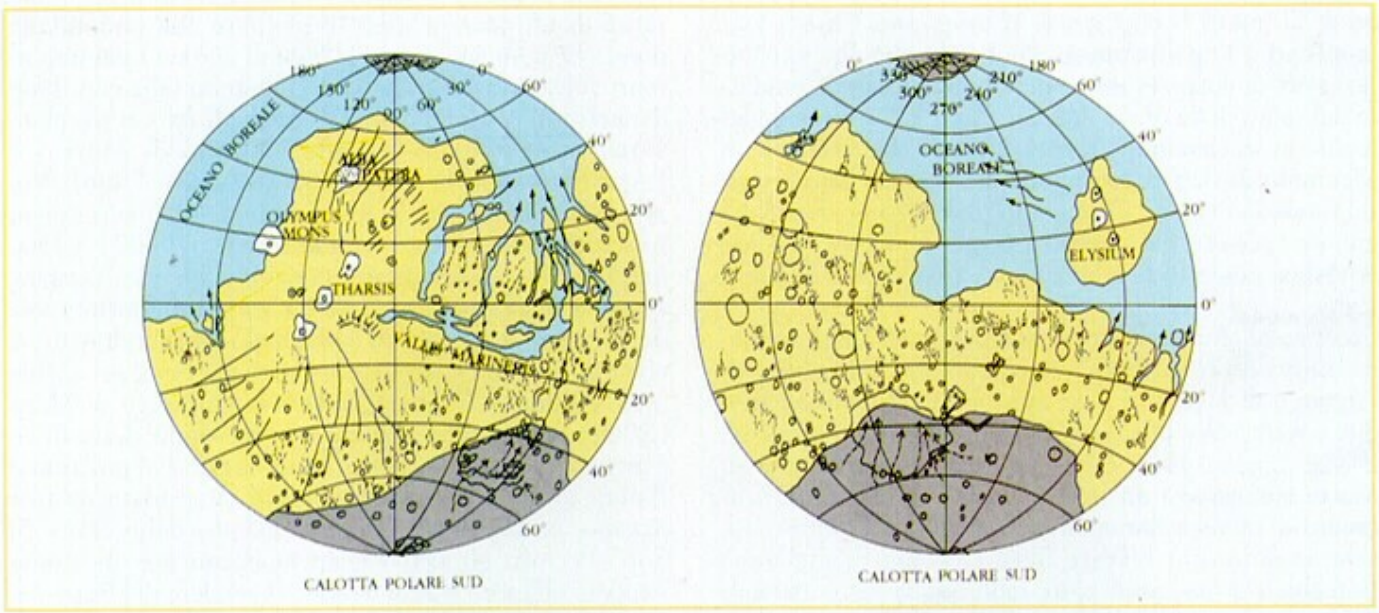
L'immagine telescopica (a sinistra) del nucleo dell'ammasso globulare 47 Tucanae mostra un'infinità di stelle che si affollano indistinte. La ripresa del Telescopio Spaziale riesce invece a separare i singoli astri e a riconoscere le *blue straggler*, qui cerchiate in giallo. Di una "vagabonda blu" l'HST è riuscito a determinare per via diretta la massa e la velocità di rotazione su se stessa: il risultato favorisce l'idea che queste stelle nascano dalla fusione delle due componenti di un sistema binario. *(R. Saffer, D. Zurek; NASA)*

Lo strano magnetismo di Marte

Le "macchie magnetiche" rivelate dalla Mars Global Surveyor sono i resti di un forte campo magnetico ora estinto.

UNA DELLE PRIME SCOPERTE effettuate dalla Mars Global Surveyor, poco dopo il suo arrivo a destinazione, è che Marte è dotato di un debolissimo campo magnetico. La sonda, entrata in orbita attorno al pianeta l'11 settembre scorso, sta lentamente circolarizzando la sua orbita e l'operazione dovrebbe terminare nel gennaio del prossimo anno; poco dopo, inizierà la ricognizione fotografica completa e di dettaglio del pianeta rosso.

Le precedenti sonde dirette a Marte avevano a bordo magnetometri non sufficientemente sensibili per poter registrare una così tenue intensità magnetica, oppure quelle che ne erano dotate andarono perse, come la Mars Observer nel 1993, o passarono troppo distanti dal pianeta, come la sfortunata missione russa Phobos nel 1989. Il magnetometro della Mars Global Surveyor ha invece un rumore di fondo molto basso che permette allo strumento di effettuare misure molto precise.
La prima, effettuata in prossimità del periastro il 15 settembre a un'altezza di circa 150 km, ha registrato un'intensità del campo magnetico marziano pari a circa 1/800 di quello terrestre alla stessa distanza dalla superficie. Le primissime spiegazioni date per giustificare la presenza di un così debole campo magnetico sono state essenzialmente due: una è che la dinamo interna generata, come nella Terra, dai moti del nucleo metallico potrebbe essere ancora attiva, ma debolmente a causa del progressivo raffreddamento del pianeta; l'altra che l'effetto dinamo sia completamente estinto e che il debole magnetismo osservato derivi dai resti fossili di un preesistente forte campo.
Recentemente però, grazie a una serie di altre misure effettuate dal magnetometro della Mars Global Surveyor, il quadro si è fatto più chiaro. I responsabili scientifici della missione sono giunti alla conclusione che l'interno di Marte è magneticamente morto, anche se in passato doveva possedere un forte campo magnetico adesso scomparso. Le più recenti misure hanno mostrato infatti che il campo magnetico marziano assomiglia a quello che genererebbero delle gigantesche barre magnetiche sepolte sotto la crosta del pianeta. Queste molteplici "macchie" magnetiche sembrano essere i resti di un antico campo magnetico globale che si sarebbe poi congelato a macchia di leopardo nella crosta superficiale, forse dove il magma si raffreddò e solidificò miliardi di anni fa.



Mappa schematica del pianeta Marte che mostra l'antica estensione del presunto Oceano Boreale e delle calotte polari. Le freccine nere indicano le direzioni in cui l'acqua si riversava nell'Oceano provenendo da fratture crostali presenti nelle regioni di maggiore attività vulcanica. *(adattata da Baker et al.*, Nature, **352**, *589; 1991)*

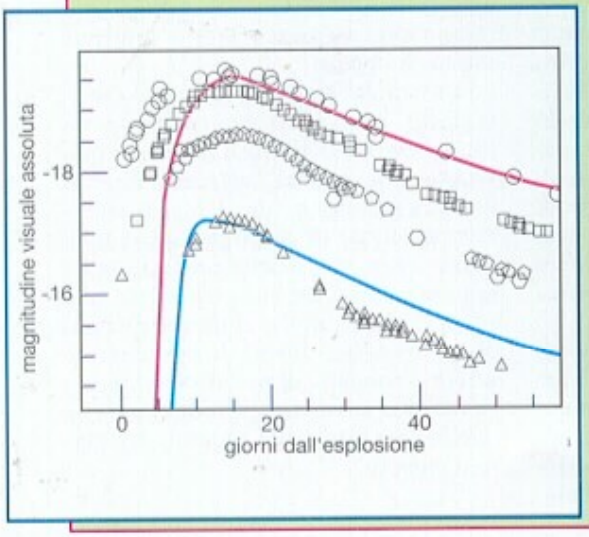
Particolare di una foto ripresa dagli Orbiter Viking che mostra un sistema di canali dendritici formatisi sulle pendici di un preesistente cratere d'impatto. Diverse argomentazioni suggeriscono che anche in questo caso l'origine dei canali sia dovuta a precipitazioni. Il cratere più grande visibile nella foto misura circa 50 km di diametro.

spiegare l'aspetto degradato di molti crateri d'impatto presenti sugli altopiani marziani. Se l'interpretazione delle osservazioni è corretta, dall'analisi della morfologia delle valli dendritiche e dei crateri degradati da processi erosivi si può dedurre che le piogge cadute sugli altopiani marziani dovevano essere abbastanza sporadiche, anche se di forte intensità. Quindi, sebbene in passato il clima del pianeta fosse molto più caldo e umido di quello attuale, tale clima era comunque abbastanza secco e, molto probabilmente, freddo rispetto agli standard terrestri: forse era simile a quello della tundra e delle steppe del nostro pianeta.

TORNANDO AI CANALI, è interessante vedere cosa succede alla fine dei loro corsi. Infatti, in alcuni casi essi sembrano arrestarsi di colpo, il che potrebbe essere dovuto o all'occultamento del vecchio alveo sotto una coltre di materiali (come polvere o lava) depositatisi successivamente, oppure al fatto che questi canali a un certo punto scomparivano nel sottosuolo continuando il loro corso come fiumi sotterranei. In altri casi, uno o più canali vanno a sfociare in depressioni del terreno o in crateri d'impatto che un tempo ospitavano probabilmente laghi nei quali si raccoglievano le acque. A supporto di questa ipotesi, sui

"medio" della categoria.
Nello scenario normalmente accettato, le progenitrici delle supernovae Ia sono stelle nane bianche che fanno parte di un sistema binario stretto, così che la nana bianca risucchia materia dalla sua compagna e accresce la sua massa; quando tale massa raggiunge un valore limite (il cosiddetto *limite di Chandrasekhar*) la pressione interna non è più sufficiente a contrastare la contrazione della stella che inizia a collassare bruciando rapidamente anche i nuclei più pesanti (in maggioranza nuclei di silicio) al suo interno e liberando in pochi istanti una enorme quantità di energia che ne causa l'esplosione. In questo scenario la stella esplode senza lasciare residui e quindi, siccome la massa limite di Chandrasekhar è un valore costante, pari a circa 1,4 masse solari, tutte queste esplosioni liberano alla fine la stessa quantità di energia, giustificando l'ipotesi che tutte le supernovae di questo tipo abbiano la stessa luminosità assoluta.
Le differenze che sembrano esserci potrebbero quindi dipendere dai diversi meccanismi di esplosione e negli ultimi anni sono stati elaborati centinaia di modelli che cercano di descrivere questa fase esplosiva, ma spesso la gran quantità di parametri e di variabili coinvolte rendono difficile capire quali siano i fattori veramente importanti nel determinare le differenze riscontrate. Il pregio del lavoro dei ricercatori italiani sta nell'aver adottato un modello estremamente semplificato, che trascura i dettagli dell'esplosione, per occuparsi solo dei processi che determinano la luminosità della supernova subito dopo l'esplosione. Si sa che la fonte principale di questa luminosità risiede nell'energia rilasciata dal decadimento radioattivo dei nuclei di un isotopo del nichel (^{56}Ni) prodotti in gran quantità durante l'esplosiva fusione del silicio. Questi nuclei decadono emettendo raggi gamma e trasformandosi in nuclei di un isotopo del cobalto, che sono a loro volta instabili e decadono, con tempi molto più lunghi, in nuclei di ferro. I raggi gamma emessi dal decadimento del nichel devono attraversare i densi gusci di materia espulsi dall'esplosione e durante questo tragitto vengono assorbiti e riemessi a frequenze più basse emergendo alla fine come luce visibile: l'efficienza di questo processo determina la luminosità della supernova che noi osserviamo.
In ultima analisi, quindi, i fattori essenziali che determinano la luminosità della supernova sono la quantità di ^{56}Ni che viene prodotto durante l'esplosione (che fornisce l'energia sotto forma di raggi gamma) e la quantità totale di materia eiettata (che fa da schermo filtrante per i fotoni gamma). Il modello elaborato dai ricercatori italiani si concentra solo su questi due fattori, cercando di determinare le quantità di nichel e di materiale eiettato in modo da ricalcare al meglio le curve di luce misurate per le supernove prese in esame.
I risultati, che saranno pubblicati su un prossimo fascicolo di *Astronomy & Astrophysics*, mostrano che la quantità di ^{56}Ni prodotta varia da 0,1 a 1,1 masse solari e che la quantità totale di materiale eiettato varia da 0,7 a 1,4 masse solari. I valori più bassi corrispondono naturalmente alle supernovae che appaiono meno luminose, mentre i più alti corrispondono alle più brillanti. Come si vede, gli intervalli di variazione sono piuttosto ampi, e confermano l'esistenza di notevoli differenze tra supernovae che, fino a pochi anni fa, si riteneva fossero quasi del tutto identiche. Ora si tratta di vedere se ulteriori raffinamenti del modello permetteranno di stabilire una precisa correlazione tra l'andamento della curva di luce e la luminosità assoluta, così da restituire alle supernovae la il loro ruolo di indicatori di distanza pienamente affidabili.

Emilio Novati



Il grafico rappresenta le curve di luce di cinque supernovae; i simboli si riferiscono alle misure effettuate: i cerchi per la 1991T, i quadrati per la 1994D, i pentagoni per la 1992A, gli esagoni per la 1993L e i triangoli per la 1991bg. Le linee in colore rappresentano le curve di luce teoriche calcolate dagli autori in base al loro modello; per la curva rossa i valori della massa totale eiettata e della quantità di nichel sono pari a 1,4 e 1,1 masse solari, mentre per quella blu i valori sono rispettivamente di 0,7 e 0,1 masse solari. Come si vede le curve di luce si dispongono tra questi estremi. *(adattato da E. Cappellaro e altri, ESO Preprint 1243)*

Acqua sui pianeti esterni

Il satellite europeo ISO scopre l'acqua su Saturno e Nettuno. Chi ve la porta?

Il vapore d'acqua è presente in piccole quantità nelle stratosfere planetarie in quanto la tropopausa, la regione che segna il limite inferiore della stratosfera, a causa delle sue basse temperature lo fa congelare e agisce quindi come un'efficace barriera alla sua diffusione a quote più alte. Nonostante ciò, dopo che tracce di vapor d'acqua sono state trovate nelle stratosfere di Giove, Titano e Urano, è stato possibile ottenere indicazioni dirette e precise della sua presenza anche su Saturno e Nettuno (*Nature*, **389**; 159), grazie alle misure effettuate da uno degli spettrometri a bordo del satellite europeo ISO (Infrared Space Observatory). Scopo della ricerca era quello di identificare nella regione spettrale del lontano infrarosso, compresa tra 7 e 45 micrometri, le righe di emissione caratteristiche dell'acqua osservando le atmosfere di Giove, Saturno, Urano e Nettuno; purtroppo, nel caso del primo pianeta non è stato possibile effettuare le misure a causa dell'eccessiva luminosità. Il risultato è stato positivo.
Qual è l'origine di quest'acqua? Nella stratosfera terrestre la barriera fredda rappresentata dalla tropopausa impedisce in maniera abbastanza efficace la diffusione del vapor d'acqua in questa regione e c'è ragione di credere che